Ferdowsi Civil Engineering, 37, 3, 2024. (1- 12)

Ferdowsi University of Mashhad

Ferdowsi Civil Engineering

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir

Iranian Concrete Institute

Pavement Engineering Association of Iran

Spatial Assessment of Land Surface Temperature Trends in Different Climates of Khorasan Razavi Province Using Aqua Satellite Imagery (From 2003 to 2023)

Research Article

Mojtaba Goldani[1], Hossein Etemadfard[2], Ali Rezaei[3]

DOI: 10.22067/jfcei.2024.88361.1302

1-Introduction

Increased fossil fuel consumption has led to global warming, resulting in a rise in Earth's surface temperature in recent decades. This warming has imposed significant impacts on various aspects of life, including the melting of polar ice caps, rising sea levels, and widespread climate change that has altered precipitation patterns. Policymakers are faced with ongoing challenges in addressing these issues, which necessitates continuous monitoring and study of the climatic and ecological effects in order to make effective decisions. The measurement of Land Surface Temperature (LST) plays a crucial role in understanding these changes. Various studies have utilized meteorological station data, satellite imagery, and remote sensing to analyze trends in LST. These research endeavors have highlighted the impact of urban expansion on surface temperatures and have examined the spatial and temporal variations in LST across different regions. In addition, some factors, such as solar radiation absorption contribute to temperature differences between day and night. However, despite these advancements, further investigation is needed to understand the effects of surface temperature changes on different climates, particularly in local microclimates, such as in Khorasan Razavi Province, Iran. This study aimed to address this research gap by analyzing spatial and temporal changes in LST during 2003-2023 using satellite data from the Aqua sensor.

2- Materials and Methods

This research utilizes data from the Aqua sensor of the MODIS mission, which provides images at different spatial resolutions: 2 bands at 250-meter resolution, 5 bands at 500-meter resolution, and 29 bands at 1000-meter resolution. The LST index is collected from the Aqua sensor's product MOD11A1/061, which spans a period of 20 years from 2003 to 2023. This product offers a spatial resolution of 1000 meters and provides daily temporal resolution for both daytime and nighttime. To analyze the data, weekly average images with a spatial resolution of 5 km were extracted within Khorasan Razavi province (Figure 1) using Google Earth Engine. MATLAB software was employed for time series trend analysis by linear regression. The linear regression model was LSTt = a + bt, where LSTt represents the LST value at time t, a denotes the y-intercept indicating the estimated LST value at time zero (t=0), and b indicates the slope representing the change in LST per unit time interval.

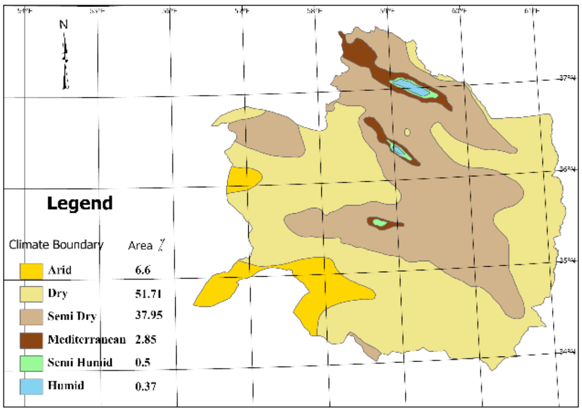


Figure 1. Different climates in Khorasan Razavi Province

3- Results and Discussion

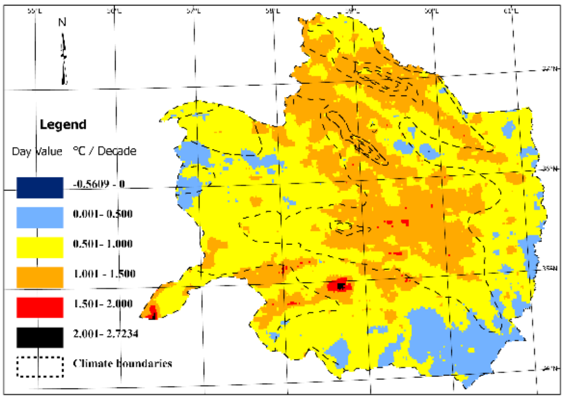
The analysis of daily temperature trends revealed a notable overall increase in most regions of the province. As shown in Figure 2 (a), in the arid and semi-arid climates, which cover a significant portion of the area, about 99.34% and 99.86% of data points demonstrate an upward trend, respectively. In contrast, the dry climate, which is the largest in terms of coverage, exhibits the highest number of data points indicating a decrease in temperature.

*Manuscript received June 3, 2024, Revised July 26, 2024, Accepted September 1, 2024.

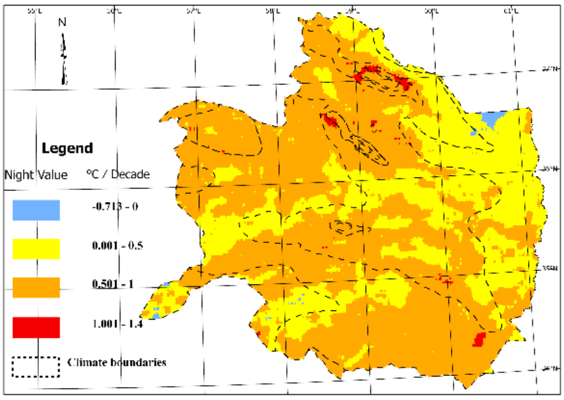
[1] Master's degree candidate in Environmental Science, Ferdowsi University of Mashhad, Department of Civil Engineering.

[2] Corresponding Author: Assistant Professor Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. **Email**: etemadfard@um.ac.ir

[3] Master's degree candidate in Water Resources Management, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.



(a)



(b)

Figure 2. Trend of LST per decade in the study area; (a) daytime trend; (b) nighttime trend

These points, mainly located in the southeastern part of Mashhad city and attributed to agricultural activities, experienced an average decrease of -0.17°C/decade, with the lowest recorded temperature being -0.64°C/decade. Conversely, only 0.45% of the total area of the province is characterized by data points showing an increasing trend, predominantly concentrated in humid and Mediterranean climates. In these areas, the trend values are 1.25°C/decade and 1.23°C/decade, respectively. The dry climate exhibits the lowest increasing trend value at 0.81°C/decade. The hottest data points in the 20-year trend are concentrated in the dry climate, specifically in Bejestan city, where a decline in vegetation has been observed during this period. When analyzing night-time patterns [Figure 2 (b)], it becomes apparent that Khorasan Razavi Province underwent a significant surge in surface temperature during the designated study period. In regions characterized by humid, semi-humid, and Mediterranean climates, all areas exhibited an upward trend, with average temperature increases ranging from 0.8 to 0.9 degrees Celsius per decade. Conversely, in arid, semi-arid, and ultra-arid climates, approximately 96% of the province witnessed a decline in trends, with the ultra-arid climate experiencing the most substantial average reduction (-0.22°C/decade). On average, the overall temperature rise across these climates was approximately 0.60 degrees Celsius. It is important to note that the semi-arid climate showed the smallest decrease in surface temperature (-0.79°C/decade) and the highest increase (1.38°C/decade).

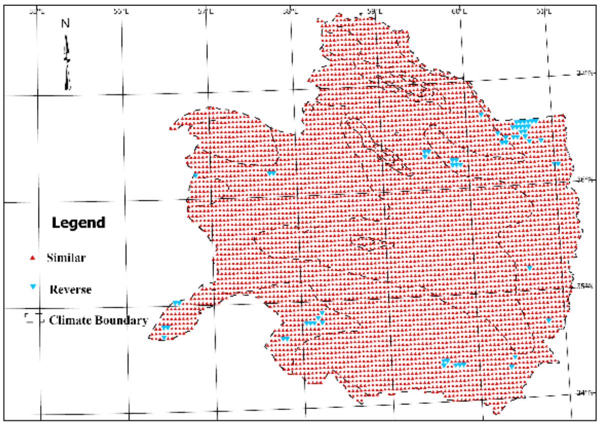


Figure 3. Trend direction in different climates

Figure 3 highlights the distribution of diminishing trends in the northeast, particularly in the Khangiran region, which contrasts with the day-time trends observed in vegetated areas. Similarly, the southwest regions, with a lack of vegetation, also displayed a decrease in night-time temperatures. Conversely, the results demonstrated the most significant increases in night-time surface temperature in limited areas of dry and semi-dry climates in the south, as well as in other regions with Mediterranean and semi-dry climates in the northern part of Razavi Khorasan.

4- Conclusion

The findings of this study demonstrated the considerable effects of land cover changes, particularly in agricultural regions, on daytime temperatures, resulting in discernible cooling effects. Nevertheless, agricultural land use has minimal influence on night-time temperatures. Furthermore, local climates do not appear to have a significant impact on LSTs, irrespective of land cover type and changes. These changes occur gradually and can be effectively managed through appropriate measures. Consequently, it is recommended that future research concentrate on the effects of land use on surface temperature changes and implementing suitable strategies to proactively mitigate adverse climate-related consequences.

مهندسی عمران فردوسی

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir/

انجمن بتن ایران

انجمن مهندسی روسازی ایران

ارزیابی مکانی روند دمای سطح زمین در اقلیم‌های خراسان رضوی با سنجنده آکوا (از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳)*

مقاله پژوهشی

مجتبی گلدانی[۱] حسین اعتمادفرد[۲] علی رضایی[۳]

DOI: 10.22067/jfcei.2024.88361.1302

چکیده *صنعتی‌شدن و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی گرمایش زمین را در پی داشته و موجب تغییر در طبیعت، اقلیم و زیست انسان شده است. مطالعه و پایش بلندمدت پارامترهای مرتبط با گرمایش زمین به خصوص دمای سطح زمین با استفاده از تکنولوژی‌هایی مانند سنجش‌ازدور می‌تواند به درک درست و بهتر این پدیده کمک کند. انرژی خورشید در طول روز به سطح زمین رسیده و دمای آن را افزایش می‌دهد، اما در طول شب رفته‌رفته از آن خارج شده و دمای آن کاهش می‌یابد. در این تحقیق، به کمک سنجنده آکوا از مأموریت مودیس، تصاویر مربوط به شاخص LST در یک دوره ۲۰ساله از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳ از استان خراسان رضوی واقع در شمال شرق ایران جمع‌آوری و به‌صورت هفتگی میانگین‌گیری گردیدند. سپس به کمک رگرسیون خطی روند دمای سطح در منطقه در تمامی اقلیم‌ها محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی شاخص LST در روز و شب افزایشی بوده، ولی در روز هنگام دمای سطح زمین افزایش بیش‌تری نسبت به مقدار آن در طول شب داشته است. دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک در استان غالب هستند و میانگین افزایش دمای سطح برای آن‌ها در روز هنگام به ترتیب ۰/۸۰ و ۱/۰۷ سانتی‌گراد بر دهه و شب‌هنگام ۰/۵۵ و ۰/۵۹ سانتی‌گراد بر دهه بود. علاوه بر این، مشاهده شد ارتباط محسوسی بین اقلیم‌ها و روند دمای سطح وجود ندارد و روند LST روزهنگام در مناطقی که دارای کاربری کشاورزی هستند کاهشی بوده اما روند LST شب‌هنگام ارتباطی به کاربری کشاورزی یا پوشش گیاهی نداشته است.*

واژه‌های کلیدی آکوا، اقلیم، خراسان رضوی، دمای سطح زمین، مودیس.

Spatial Assessment of Land Surface Temperature Trends in Different Climates of Khorasan Razavi Province Using Aqua Satellite Imagery (From 2003 to 2023)

Mojtaba Goldani Hossein Etemadfard Ali Rezaei

Abstract *Industrialization and the escalated consumption of fossil fuels have resulted in global warming, which has caused alterations to nature, climate, and human life. The long-term monitoring and examination of parameters associated with global warming, particularly land surface temperature (LST), using advanced technologies like remote sensing, can contribute to a more comprehensive and precise understanding of this phenomenon. Solar energy during the daytime, raising its temperature, while dissipation of energy gradually occurs during the night, leading to a decrease in temperature. Here, a collection of images related to the LST was amassed over 20 years, from 2003 to 2023, for Khorasan Razavi Province in northeastern Iran, utilizing the MODIS data. These images were averaged weekly. Subsequently, the surface temperature trend encompassing all climates in the region was determined through linear regression. The findings demonstrate a general increase in the LST index during both daytime and nighttime; however, the rise in surface temperature during the daytime exhibits a more substantial increase compared to nighttime. The province is predominantly characterized by arid and semi-arid climates, with an average rise in surface temperature during the day of 0.80°C and 1.07°C per decade, respectively, and during the night of 0.55°C and 0.59°C per decade. Moreover, it was observed that there is no significant correlation between climate and surface temperature trends. The daytime LST trend in areas with agricultural land use displays a decreasing pattern, whereas the nighttime LST trend does not seem to be influenced by agricultural land use or vegetation cover.*

Keywords Aqua, Climate, Khorasan Razavi, Land Surface Temperature, MODIS.

---

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۳/۱۴ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۱ می‌باشد.

(۱) کارشناس ارشد رشته محیط زیست، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(۲) نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. **Email**: etemadfard@um.ac.ir

(۳) کارشناس ارشد رشته مدیریت منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و در پی آن گرمایش زمین موجب شده دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) در طی دهه‌های گذشته افزایش یابد که روی تمامی ابعاد حیات در کره زمین تأثیر داشته است [1]. از جمله نتایج گرمایش زمین، آب شدن یخچال‌های قطبی و در پی آن بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها و تغییر اقلیم گسترده است که موجب شده الگوهای بارش در مناطق مختلف تغییر کند [2, 3]. سرعت وقوع این اتفاقات باعث شده است تا متولیان و برنامه‌ریزان با چالشی مستمر در سیاست‌گذاری‌های خود مواجه باشند [4] و همواره نیاز به پایش و مطالعه اثرات اقلیمی و زیستی آن برای اتخاذ تصمیمات مؤثر و مفید وجود داشته باشد. سطح زمین که یکی از عناصر اساسی در علوم زمین شناخته می‌شود تحت تأثیر عواملی از قبیل انرژی ورودی، تخلیه سطحی، رطوبت و حرکت هوای اتمسفر بوده و انرژی خالص سطح سیاره متأثر از این موارد است [5]. درک درست از انرژی سطحی در کنار محاسبه دمای سطح در بسیاری از مطالعات علوم زمین از قبیل مطالعات مربوط به گسترش شهر، مدیریت منابع آب، بلایای طبیعی و آب‌وهوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دمای سطح زمین اصلی‌ترین عامل در تعیین تعادل انرژی در فرایندهای فیزیکی سطح زمین بوده و نقش به‌سزایی در تحلیل تغییرات آب‌وهوایی و تأثیرات آن بر محیط زیست دارد [1].

برخی از محققان با مطالعه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی روند گرم شدن دمای سطح زمین را گزارش کرده‌اند. سلیمی‌فرد [6] با استفاده از داده‌های ۹ ایستگاه فعال در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۵ روند افزایشی دما را گزارش کردند، اما استخراج روند از این داده‌ها زمان‌بر و پرهزینه هستند [۷]. در مطالعه‌ای دیگر، قویدل [8] با بررسی و تحلیل داده‌های دمای بیشینه روزانه از ۱۳ ایستگاه استان خوزستان اثرات امواج ابر گرم را بررسی کرد. مزیدی و فلاح‌زاده [9] برای مطالعه دمای اعماق زمین داده‌های روزانه دمای خاک ایستگاه‌های سینوپتیک یزد را جمع‌آوری کردند. از این رو، اغلب مطالعات در این حوزه به کمک تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دوری شاخص‌های مختلف را مطالعه می‌کنند. این تکنولوژی امکان بررسی عوارض کره زمین را در بازه زمانی و مکانی طولانی فراهم کرده است. بسیاری از محققان در علوم مختلف مانند جغرافیا، محیط زیست و هواشناسی از این ابزار برای افزایش بهره‌وری و گستره مطالعات خود بهره برده‌اند [10]. شاخص دمای سطح زمین (LST) یکی از محصولات سنجش از دوری است که در گستره زمانی و مکانی مناسبی امکان مطالعه تغییرات را فراهم آورده است [11,12]. دمای سطح زمین میزان تابش ساطع شده از سطح زمین و تبادل انرژی بین سطح و جو را منعکس می‌کند [13,14]. این سنجه سنجش از دوری در بسیاری از مطالعات از قبیل منابع حرارتی زمین، تعادل انرژی تغییر اقلیم و پدیده‌های شهری، رطوبت خاک و مدیریت منابع آب کاربرد دارد [15]. مأموریت مودیس (MODIS) [7] امکان اندازه‌گیری و ثبت تصاویر مربوط به دمای سطح زمین را دارد. دو سنجنده ترا و آکوا توانایی اندازه‌گیری دمای سطح زمین در دو بازه زمانی روزهنگام و شب‌هنگام را دارند. این مأموریت امکان انجام تحقیقات بسیاری را در موضوعات متنوع برای محققان میسر ساخته است به طوری که بسیاری از آن‌ها توانسته‌اند با مطالعه بلندمدت شاخص LST ارتباط آن را با دیگر عوامل محیطی مطالعه کنند. در یک پژوهش با استفاده از داده‌های سنجنده ترا و آکوا از مأموریت مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ برای استان گیلان، دمای شب و روز سطح زمین و ارتباط آن با میزان سبزینگی و رطوبت بررسی شد [16]. در تحقیقی دیگر، طریق و همکاران (et.al Tariq) [17] اعلام کردند که ارتباط مستقیمی بین دمای سطح زمین، شاخص سبزینگی (NDVI) و شاخص محتوای آب (NDWI) وجود دارد. بهروزآباد و همکاران [18] در حوزه آبریز دریاچه جازموریان با استفاده از سنجنده ترا و آکوا دمای شب هنگام سطح زمین را بررسی کردند. آن‌ها با برآورد شاخص LST بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ دریافتند که مقادیر شب‌هنگام LST در این دوره مخصوصا از ۲۰۰۸ به بعد در ماه‌های منتج به دوره سرد سال روند افزایش را شاهد بوده است.

مطالعاتی زیاد در حوزه کاربرد دمای سطح زمین انجام شده است. موسوی و همکاران در سال ۱۴۰۲ با تصاویر ماهواره لندست (LANDSAT) طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ شاخص دمای سطح زمین را در سه شهر کاشان، شیرگاه و بندر انزلی جمع‌آوری و مطالعه کردند. آن‌ها اعلام کردند که گسترش فیزیکی شهرها که منجر به تغییرات مکانی و زمانی شده، در خواص بیوفیزیکی شهر از جمله LST تأثیرگذار بوده و افزایش دمای سطح شهر را در پی داشته است. علاوه بر این، با توجه به شرایط اقلیمی میانگین سبزینگی در مناطقی با اقلیم مرطوب (انزلی و شیرگاه) نسبت به مناطقی با اقلیم گرم و خشک

(کاشان) متفاوت است [7]. همچنین، مرادی و همکاران [19] با استفاده از داده‌های روزهنگام مودیس شیب دمای سطح زمین را در ایران مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات زمانی مکانی چشم‌گیری در شیب دمای سطح زمین ایران دیده می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۴۰۲ طی یک پژوهش به مطالعه روند دمای سطح زمین در ایران مرکزی با استفاده از داده‌های سنجنده ترا از مأموریت مودیس پرداختند. آن‌ها با استخراج تصاویر از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ دریافتند که بیشترین افزایش در استان‌های اصفهان، سمنان و قم رخ داده در حالی که کمترین کاهش در استان‌های یزد و اصفهان بوده است. مسئله دیگر تفاوت میان میزان دمای سطح زمین در طول روز و شب با توجه به جذب انرژی تابشی خورشید است. این انرژی در طول روز جذب سطح شده و طی شب رفته‌رفته به محیط بر می‌گردد که باعث افزایش میانگین دمای سطح در شب‌هنگام نیز می‌شود. شب‌هنگام سطح زمین به شکل یک سطح هم‌دما و هم‌گن عمل می‌کند به طوری که می‌تواند منجر به ظهور اختلاف ۲۰ درجه‌ای دما شود در حالی که این اختلاف در طول شب نمود چندانی ندارد [21].

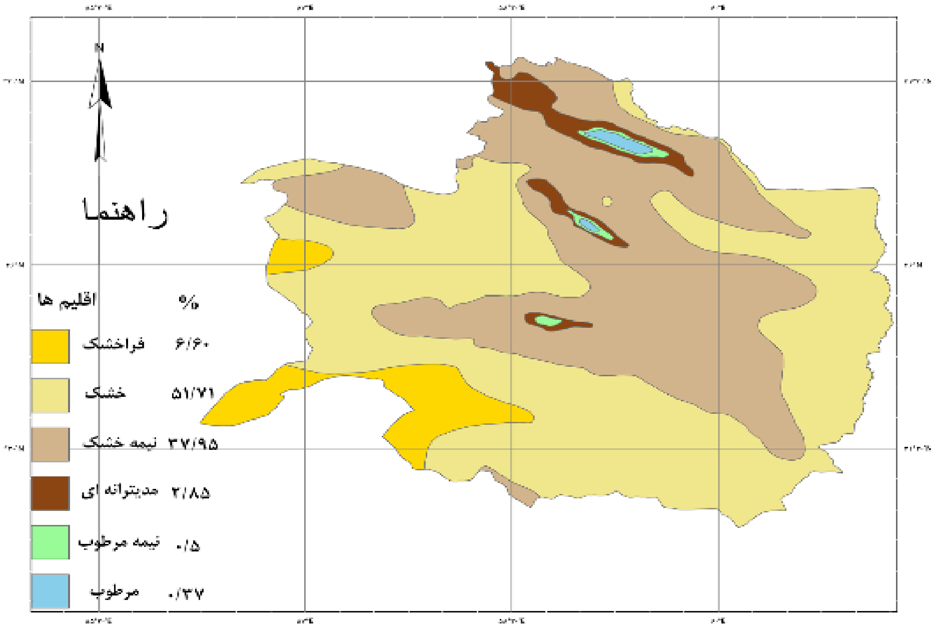
پس از بررسی منابع مختلف در حوزه پایش بلندمدت روند دمای سطح زمین این امر واضح شد که تأثیرات تغییرات دمای سطح بر انواع خرده‌اقلیم کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. با وجود تشدید عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین لزوم ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی LST در اقلیم‌های مختلف محلی وجود دارد [22]. فعالیت‌های انسانی و پدیده تغییر اقلیم به طرز معنی‌داری بر روی پوشش و کاربری زمین تأثیر گذاشته است [23]. در کنار این عوامل، فرونشست در خراسان رضوی به دلیل برداشت غیر اصولی از سفره‌های آب زیرزمینی خود تغییرات اقلیمی را تشدید کرده و موجب افزایش دمای سطح زمین شده است [24]. مطالعات انجام شده در این زمینه نتوانستند اثر تغییرات دمای سطح زمین را بر خرده‌اقلیم‌ها و پوشش‌های گیاهی بررسی کنند. همچنین، در تحقیقات انجام شده در ایران کمتر به بررسی بلندمدت شاخص LST پرداخته شده است. از این رو، در این تحقیق هدف آن است که در یک بازه زمانی بلندمدت ۲۰ساله از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ میلادی شاخص LST و تأثیر متقابل آن بر اقلیم‌های استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گیرد.

داده و روش

در این پژوهش از سنجنده آکوا از مأموریت مودیس استفاده شده است. تصاویر این سنجنده قدرت تفکیک مکانی متفاوتی دارند؛ ۲ باند با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، ۵ باند با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و ۲۹ باند با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر [25]. شاخص دمای سطح زمین از محصول MOD11A1/061 سنجنده آکوا و در بازه زمانی ۲۰ساله از ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳ جمع‌آوری شده است. این محصول دسترسی به دقت مکانی ۱۰۰۰ متر و زمانی یک روز را برای روزهنگام و شب‌هنگام فراهم آورده است.

سنجنده آکوا در مدار همسان با خورشید حرکت می‌کند به این معنی که همانند خورشید، هر روز در یک ساعت محلی مشخص از یک منطقه زمین عبور می‌کند. این ویژگی امکان ثبت داده‌های مرتب با آن نقطه را به صورت روزانه مهیا می‌کند. چرخش آکوا به نحوی است که در ساعت ۱:۳۰ عصر به وقت محلی از جنوب به شمال از نوار استوا عبور و داده روز را ثبت می‌کند. از گذر شمال به جنوب نیز در به وقت محلی ۱:۳۰ بامداد دوباره از استوا می‌گذرد. حرکت این سنجنده از این نظر اهمیت دارد که در گذر روزانه خود در ساعت ۱:۳۰ عصر تقریبا مقدار حداکثر دمای سطح زمین را ثبت می‌کند. همچنین، در ساعت گذر شبانه نیز به نحوی است که دمای سطح را در خنکی ثبت کند. با تلفیق دمای سطح روز و شب‌هنگام محققان می‌توانند با نگاهی کلی‌تر روندهای دمایی و تغییر اقلیم را مطالعه کنند [26].

محصول MOD11A1 نسخه ۶/۱ مقادیر دمای سطح زمین (LST) و گسیلمندی (emissivity) را به‌صورت روزانه در یک شبکه ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتر فراهم می‌کند. مقدار دما از محصول نواری MOD11_L۲ استخراج می‌شود. در عرض‌های بالاتر از ۳۰ درجه، برخی پیکسل‌ها ممکن است دارای چندین مشاهده باشند که معیارهای آسمان صاف را برآورده می‌کنند. در این موارد، مقدار پیکسل میانگین همه مشاهدات واجد شرایط است. به همراه باندهای دمای سطح در روز و شب و لایه‌های شاخص کیفیت آن‌ها، باندهای ۳۱ و ۳۲ مودیس و شش لایه مشاهده نیز ارائه می‌شود. تصاویر این محصول به صورت میانگین هفتگی و با دقت مکانی ۵ کیلومتر در محدوده استان خراسان رضوی که در شکل (۱) قابل مشاهده است، گرفته شد. برای این منظور از سامانه گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) استفاده گردید. روندیابی سری زمانی نیز در نرم‌افزار متلب و با استفاده از روش رگرسیون خطی (Linear Regression) محاسبه شد [27].



شکل ۱ تنوع اقلیمی استان خراسان رضوی به عنوان محدوده مطالعاتی [28]

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران و در طول جغرافیایی ۶۲ تا ۵۶ درجه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۳ تا ۳۸ درجه شمالی با مساحت ۱۱۷۲۰۰ کیلومتر مربع گسترش یافته و در شکل (۱) قابل مشاهده است.

جمعیت خراسان رضوی طبق سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ حدود شش و نیم میلیون نفر بوده که از این حیث دومین استان پرجمعیت ایران به شمار می‌رود. مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر ایران از نظر وسعت و جمعیت، مرکز این استان است. میزبانی از صنایع، معادن و تعداد زیادی از گردشگران به طور سالانه، جایگاهی استراتژیک به این استان داده است. خراسان رضوی بر اساس طبقه‌بندی دومارتن شش نوع اقلیم را در خود جای داده است. مطابق شکل (۱)، شش اقلیم خشک، نیمه‌خشک، فراخشک، نیمه‌مرطوب، مرطوب و مدیترانه‌ای در این استان قرار گرفته است. دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک به ترتیب با ۵۱/۵۷ و ۳۷/۹۵ درصد بیشترین سهم از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که سایر اقلیم‌ها در حدود ۱۰ درصد از مساحت کل استان را شامل می‌شوند. خراسان رضوی یکی از تولیدکنندگان اصلی محصولات متنوع کشاورزی نیز هست. از این رو، بررسی عوامل تأثیرگذار بر اقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش تحقیق

به‌منظور محاسبه سری زمانی با استفاده از تصاویر جمع‌آوری شده LST در طول دوره مطالعه از روش رگرسیون خطی استفاده گردید. در این روش، زمان t به متغیر مستقل تبدیل می‌شود و مدل روند خطی به صورت زیر محاسبه می‌شود: [16]

$$LST_t = a + bt \qquad (1)$$

که در آن:

۱. LST_t مقدار LST در زمان t است.

۲. a عرض از مبدأ y است که مقدار تخمینی LST را در زمان صفر ($t = ۰$) نشان می‌دهد (که ممکن است یک نقطه داده واقعی نباشد).

۳. b شیب خط است که نشان دهنده تغییر LST به ازای هر واحد فاصله زمانی است. (b مثبت نشان دهنده روند افزایشی و منفی نشان دهنده روند کاهشی است.)

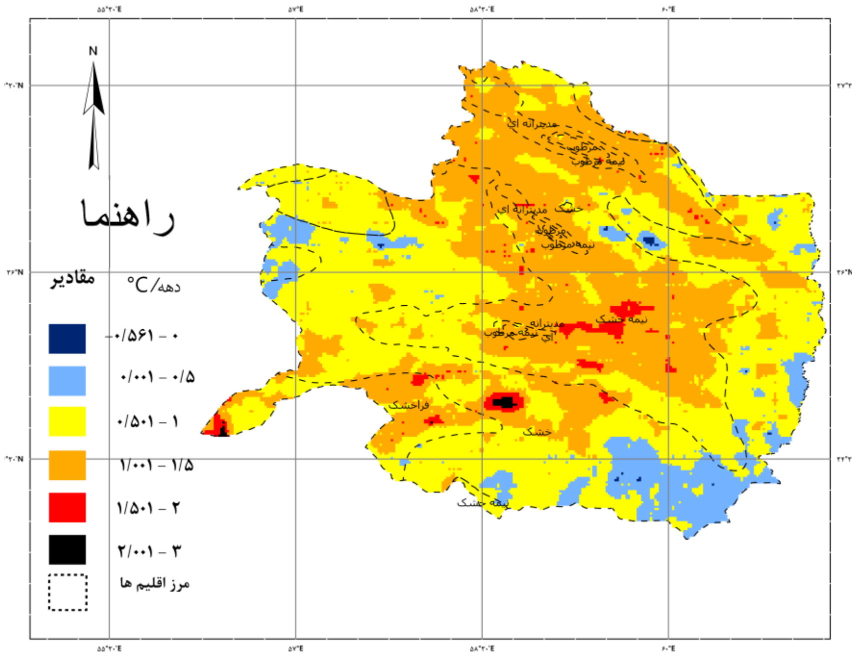
دمای سطح زمین در چرخه شب و روز به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر تابش خورشیدی و رفتار سطوح مختلف زمین قرار می‌گیرد. در طول روز، زمین گرمای خورشید را جذب می‌کند و این امر باعث افزایش تدریجی دمای سطح می‌شود. سطوح با توجه به نوع پوشش و ویژگی‌هایشان، نرخ‌های متفاوتی در جذب و حفظ گرما دارند. به عنوان مثال، آب به دلیل ظرفیت گرمایی بالا، گرم شدن و سرد شدنش کندتر

است. در مقابل، سطوح شنی به سرعت گرم می‌شوند و گرما را نیز به سرعت از دست می‌دهند [29]. علاوه بر این، پوشش گیاهی نیز در طول روز با انجام فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن را جذب و اکسیژن آزاد می‌کند. این فرایند ضمن تولید ماده غذایی در گیاه، اثر خنک‌کنندگی در محیط اطراف نیز دارد. اما در شب، در غیاب انرژی خورشیدی، زمین از طریق تابش گرما را به فضا از دست می‌دهد. این فرایند منجر به کاهش دما و خنک شدن سطح زمین می‌شود. رفتار سطوح مختلف زمین نیز در شب و روز به دلیل عدم وجود نور خورشید، متفاوت است. به عنوان مثال، در شب گیاهان فتوسنتز نمی‌کنند و تبادل حرارتی در اکوسیستم‌های گیاهی دگرگون می‌شود [30]. تفاوت دمای شب و روز و پویایی تبادل حرارتی سطوح مختلف زمین در مطالعات مربوط به آب و هوا، اکوسیستم‌ها و فرایندهای زمین‌شناسی کاربرد داشته و حائز اهمیت است. از این رو، درک این تفاوت‌ها به شناخت بهتر نحوه عملکرد سیاره زمین و تعاملات بین اجزای مختلف آن کمک می‌کند. بر همین اساس در این پژوهش روند دمای سطح زمین به‌صورت تفکیک شده برای روز و شب محاسبه شده است. در ادامه مراحل پیاده‌سازی شرح داده خواهد شد.

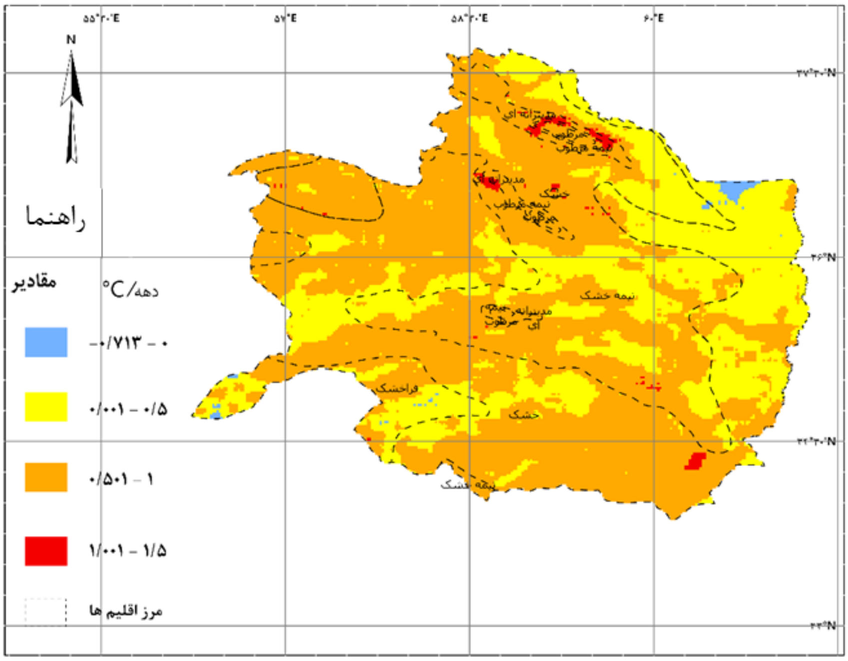
نتایج عددی

تصاویر مربوط به شاخص LST برای روز و شب در دوره مورد مطالعه از سامانه گوگل ارث انجین با زبان برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت (Java Script) است که به صورت هفتگی در طول ۲۰ سال برای روز و شب جمع‌آوری شده است. در ادامه، تصاویر به صورت سری زمانی در نرم‌افزار متلب مرتب شده و رابطه (۱) بر روی تمامی پیکسل‌های آن پیاده گردید و در نهایت پارمتر b به عنوان شیب روند دمای سطح به عنوان خروجی به دست آمد. سپس، نقشه روند دمای سطح زمین در نرم‌افزار آرک پرو (Arcgis pro) برای روز (شکل ۲) و شب (شکل ۳) و بر اساس اقلیم‌های استان خراسان رضوی (شکل ۱) تولید گردید. میانگین، انحراف از معیار و دیگر محاسبات آماری دمای سطح زمین محاسبه شده برای هر اقلیم در جدول (۱) و جدول (۲) نمایش داده شده است.

در بررسی روند دمای روزهنگام مشخص می‌شود که اغلب مناطق در محدوده استان روند افزایشی را تجربه کرده‌اند. همان‌طور که در جدول (۱) قابل مشاهده است، در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک که بیشترین مساحت استان را پوشش داده‌اند، در حدود ۹۰ درصد، به ترتیب ۹۹/۳۴ و ۹۹/۸۶ درصد از نقاط روند افزایشی داشته‌اند، در صورتی که در سایر اقلیم‌ها تمام مساحت به نقاط با روند افزایشی اختصاص یافته است.



شکل ۲ طبقه‌بندی روند (شیب تغییرات) دمای روزهنگام سطح زمین بر اساس اقلیم‌های مختلف در استان خراسان رضوی از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳



شکل ۳ طبقه‌بندی روند (شیب تغییرات) دمای شب‌هنگام سطح زمین بر اساس اقلیم‌های مختلف در استان خراسان رضوی از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳

جدول ۱ نتایج آماری روند دمای روز هنگام سطح زمین در اقلیم‌های مختلف استان خراسان رضوی

نام اقلیم	درصد از کل	درصد افزایشی	درصد کاهشی	میانگین نقاط کاهشی (°C/دهه)	میانگین نقاط افزایشی (°C/دهه)	انحراف معیار	میانگین کل (°C/دهه)	کمترین (°C/دهه)	بیشترین (°C/دهه)
خشک	۵۱/۷۳	۹۹/۳۴	۰/۶۶	-۰/۱۷	۰/۸۱	±۰/۳۳	۰/۸۰	-۰/۶۴	۲/۴۸
نیمه‌خشک	۳۷/۹۵	۹۹/۸۶	۰/۱۴	-۰/۱۱	۱/۰۷	±۰/۲۷	۱/۰۷	-۰/۳۱	۲/۰۲
فراخشک	۶/۶۰	۱۰۰	۰	۰	۱	±۰/۳۶	۱	۰/۰۶	۲/۷۸
مرطوب	۰/۳۷	۱۰۰	۰	۰	۱/۲۵	±۰/۱۶	۱/۲۵	۰/۸۷	۱/۴۵
نیمه‌مرطوب	۰/۵۰	۱۰۰	۰	۰	۱/۱۹	±۰/۱۵	۱/۱۹	۰/۹۵	۱/۵۹
مدیترانه‌ای	۰/۸۵	۱۰۰	۰	۰	۱/۲۳	±۰/۱۷	۱/۲۳	۰/۸۱	۱/۶۲

با نگاهی جزئی‌تر به جدول (۱)، مشاهده می‌شود که اقلیم خشک به عنوان گسترده‌ترین اقلیم، بیشترین تعداد نقاط روند کاهشی را در خود جای داده است. به نحوی که میانگین روند در این نقاط ۰/۱۷- سانتی‌گراد بوده و کمترین دمای محاسبه شده در این روند ۰/۶۴- سانتی‌گراد است. این نقاط که با رنگ آبی تیره در شکل (۲) قابل مشاهده هستند در جنوب شرقی شهر مشهد واقع شده‌اند که مربوط به کاربری کشاورزی است و در اغلب طول سال زیر کشت قرار دارد. به نظر می‌رسد که وجود پوشش گیاهی در این منطقه به صورت متمرکز دلیل روند کاهشی در این منطقه بوده است.

از طرف دیگر، با دقت در شکل (۲) مشاهده می‌شود که بخش عمده‌ای از مساحت استان متعلق به روند افزایشی است، جایی که تنها ۰/۴۵ درصد از کل مساحت خراسان رضوی به پیکسل‌های با روند افزایشی تعلق دارد. بررسی اقلیم‌ها در جدول (۱) نشان می‌دهد که اقلیم‌های مرطوب و مدیترانه‌ای بیشترین مقدار روند را داشته‌اند، به ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۲۳ سانتی‌گراد. در صورتی که، کمترین مقدار روند افزایشی مربوط به اقلیم خشک با ۰/۸۱ سانتی‌گراد بوده است. با در نظر گرفتن

توأمان نقاط افزایشی و کاهش، میانگین روند کل برای هر اقلیم به این صورت است که کمترین افزایش معادل ۰/۸۰ مربوط به اقلیم خشک و بیش‌ترین افزایش دما در اقلیم مرطوب با ۱/۲۵ رخ داده است. همچنین، گرم‌ترین نقاط روند روزهنگام در روند ۲۰ساله در اقلیم خشک متمرکز هستند که با رنگ مشکی نمایش داده شده‌اند. بررسی این منطقه که مربوط به شهرستان بجستان است نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در این دوره تضعیف شده و کاهش یافته است.

بررسی روند شب‌هنگام (جدول ۲) نشان می‌دهد که استان خراسان رضوی در عمده مساحت خود شاهد افزایش دمای سطح طی دوره مطالعه این پژوهش بوده است.

در جدول (۲) مشاهده می‌شود که در سه اقلیم مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ای، ۱۰۰ درصد مساحت را نقاط افزایشی تشکیل داده‌اند و میانگین روند در این نقاط بین ۰/۸ الی ۰/۹ سانتی‌گراد بوده که از میانگین روند در سه اقلیم دیگر بالاتر است. سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و فراخشک، در حدود ۹۶ درصد از مساحت استان، تمامی نقاط با روند کاهشی را در خود جای داده‌اند. در این بین، اقلیم فراخشک پایین‌ترین مقدار، ۰/۲۲- سانتی‌گراد، را در میانگین روند نقاط کاهشی را نسبت به دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به ترتیب ۰/۰۷- و ۰/۰۶- سانتی‌گراد داشته است. در حالی که، میانگین نقاط افزایشی در این سه اقلیم در حدود ۰/۶۰ سانتی‌گراد بوده است. علاوه بر این، کمترین کاهش دمای سطح زمین در اقلیم فراخشک (۰/۷۹- سانتی‌گراد) و بیشترین افزایش دمای سطح زمین در اقلیم نیمه‌خشک، ۱/۳۸ سانتی‌گراد، به دست آمده است. به طریق مشابه محاسبات و پردازش‌ها برای روند شب نیز انجام شد که در شکل (۳) قابل مشاهده است.

با نگاهی دقیق‌تر به شکل (۳)، مشاهده می‌شود که در شمال شرق استان و در منطقه خوانگیران، نقاط کاهشی تجمع دارند. بر خلاف روند روزهنگام که نقاط با روند کاهشی عمدتا در مناطق با پوشش گیاهی دیده می‌شود، این منطقه کوهستانی بوده و پوشش گیاهی آن غنی نیست. به طور مشابه در جنوب غربی استان، نقاطی با روند کاهشی دما قابل مشاهده هستند که عاری از پوشش گیاهی است. به نظر می‌رسد که بر خلاف روند روزهنگام، پوشش گیاهی در روند کاهشی دمای سطح در شب‌هنگام اثرگذار نبوده است.

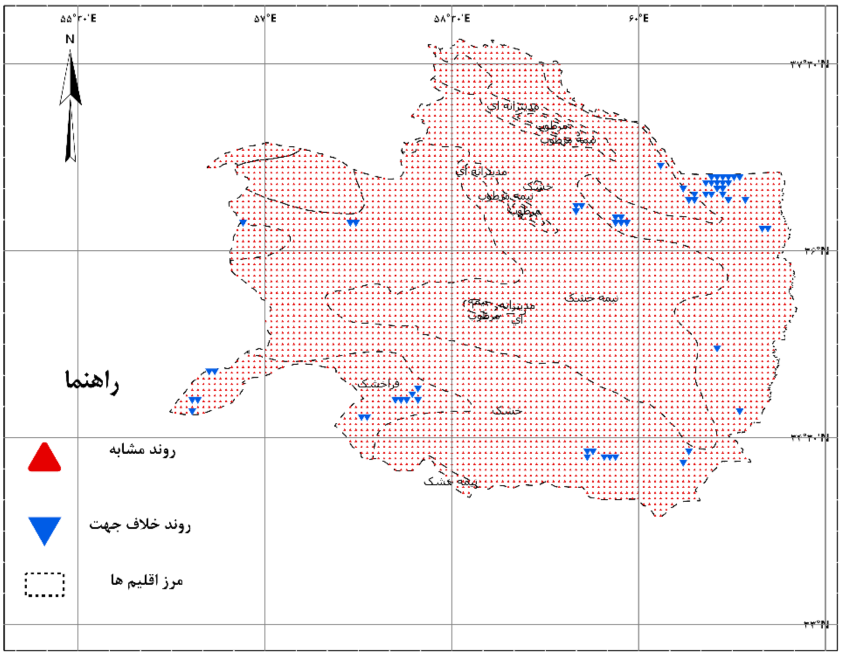
از سوی دیگر، بیش‌ترین افزایش دمای سطح شب‌هنگام که با رنگ قرمز نمایش داده شده مربوط به بخش‌های محدودی از اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در جنوب استان بوده و بخشی دیگر مربوط به اقلیم‌های مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک در شمال خراسان رضوی است.

از بررسی شکل (۲) و (۳) مشخص می‌شود که در تعدادی از نقاط جهت روند دمای سطح زمین در روزهنگام و شب‌هنگام کاملا متفاوت است. به همین جهت این نقاط به صورت تفکیک شده در شکل (۴) آمده‌اند.

با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که ۹۸/۴۱ درصد از نقاط که با مثلث‌های قرمزرنگ مشخص شده‌اند، روند روزهنگام و شب‌هنگام هم‌جهت است؛ دمای سطح زمین طی دوره در یک نقطه برای روزهنگام و شب‌هنگام هر دو افزایشی یا کاهشی بوده است. در صورتی که تنها در ۱/۵۹ درصد (مثلث‌های آبی‌رنگ) از نقاط استان در دوره مطالعه روند معکوس داشتند که به معنی افزایش دمای سطح زمین در روزهنگام و کاهش آن در شب‌هنگام، یا بالعکس بوده است.

جدول ۲ نتایج آماری روند دمای شب هنگام سطح زمین در اقلیم‌های مختلف استان خراسان رضوی

نام اقلیم	درصد از کل	درصد افزایشی	درصد کاهشی	میانگین نقاط کاهشی (°C/دهه)	میانگین نقاط افزایشی (°C/دهه)	انحراف معیار	میانگین کل (°C/دهه)	کمترین (°C/دهه)	بیشترین (°C/دهه)
خشک	۵۱/۷۳	۹۹/۳۰	۰/۷۰	−۰/۰۷	۰/۵۵	±۰/۱۸	۰/۵۵	−۰/۱۶	۱/۳۰
نیمه‌خشک	۳۷/۹۵	۹۹/۸۱	۰/۱۹	−۰/۰۶	۰/۵۹	±۰/۲۱	۰/۵۹	−۰/۱۳	۱/۳۸
فراخشک	۶/۶۰	۹۶/۴۷	۳/۵۳	−۰/۲۲	۰/۵۰	±۰/۲۱	۰/۴۸	−۰/۷۹	۱/۳۰
مرطوب	۰/۳۷	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۲	±۰/۱۱	۰/۸۲	۰/۶۶	۱/۰۸
نیمه‌مرطوب	۰/۵۰	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۹	±۰/۰۹	۰/۸۹	۰/۷۲	۱/۱۱
مدیترانه‌ای	۰/۸۵	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۷	±۰/۱۴	۰/۸۷	۰/۳۴	۱/۱۷



شکل ۴ نقشه همبستگی جهت روند (شیب تغییرات) دمای سطح در روزهنگام و شب‌هنگام

بحث و بررسی

با توجه به نتایج و اطلاعات مربوط به اقلیم و پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه مشخص می‌شود که نقاط با روند معکوس در شکل (۴) مربوط به مناطق متفاوتی هستند؛ این نقاط بیش‌تر در منطقه خوانگیران در شمال شرقی استان قرار گرفته‌اند. با بررسی سایر نقاط معلوم گردید که غیر جنوب غربی استان و جنوب شهر مشهد، نقاط با روند معکوس دارای پوشش گیاهی از نوع جنگل، مرتع‌های محلی و یا کاربری کشاورزی بوده‌اند. پوشش گیاهی در طول روز در عمل فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن را جذب و اکسیژن آزاد می‌کند و در عین حال آب را نیز تعریق می‌کند. این فرایند می‌تواند یک اثر خنک‌کننده در نواحی اطراف داشته باشد. در شب، بدون نور خورشید برای فتوسنتز، پوشش گیاهی معمولا این فرایندها را متوقف می کند و منجر به پویایی در تبادل حرارت می‌شود. به عبارتی، گیاهان به طور قابل توجهی بر تعادل دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارند، به طوری که دما در روز و شب به طرز متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۳۱] و می‌توان گفت که پوشش گیاهی در این نقاط سهم و اثر زیادی در شاخص دمای سطح زمین داشته است. در مطالعه‌ای که توسط منصورمقدم و همکاران در سال ۲۰۲۳ انجام شد، مشخص گردید که توسعه کمربند سبز شهر یزد تأثیر قابل توجهی در کاهش دمای سطح زمین در این منطقه داشته است به طوری که افزایش ۲۰۸ هکتاری فضای سبز، کاهش ۸ درصدی میانگین LST را در پی داشته است [32]. مطالعه دیگری که توسط پانتا (Pantha et al) و همکاران در سال ۲۰۲۴ انجام شد دریافتند که در مناطقی که کاربری کشاورزی و پوشش گیاهی کاهش یافته، LST افزایش داشته است [33]. با مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعات دیگر محققان نتیجه می‌شود که LST به صورت معکوس با حضور پوشش گیاهی سطحی مرتبط است.

از طرفی، از بررسی شکل‌ها و جدول‌ها مشخص می‌شود که کاربری کشاورزی تأثیر چندانی در حفظ دمای شبانه سطح زمین ندارد. ژنگ (Zheng et al) و همکاران در سال ۲۰۲۱ با بررسی شاخص NDVI و دمای روزهنگام و شب‌هنگام دریافتند که تأثیر پوشش گیاهی بیشتر متأثر از دمای روزهنگام است تا شب‌هنگام. [34]. به این ترتیب نتیجه می‌شود تأثیر پوشش گیاهی مقدار LST شبانه کمتر بوده است. در مطالعه‌ای دیگر، منگجیاو (Mengjiao et al) و همکاران در سال ۲۰۲۴ به بررسی عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین پرداختند و نتایج نشان داد که چهار عامل محرک میزان ابر، پوشش گیاهی، پوشش برف و بارندگی عمدتا دارای همبستگی‌های جزئی منفی در

طول روز و همبستگی‌های جزئی مثبت در طول شب هستند [35]. در نهایت، از مقایسه نتایج این مطالعه با سایران نتیجه می‌شود که پوشش گیاهی و کاربری کشاورزی تأثیر چندانی در کاهش یا متعادل کردن دمای سطح زمین در شب‌هنگام ندارد. علاوه بر این، به طور کلی نتیجه می‌شود که اقلیم‌های محلی نمی‌تواند به عنوان یک عامل تعیین کننده بر دمای سطح زمین شناخته شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثرات زمانی و مکانی تغییرات دماهای روزهنگام و شب‌هنگام سطح زمین بر اقلیم‌های شش‌گانه استان خراسان رضوی در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ بررسی گردید. نتایج نشان داد که تغییرات در پوشش زمین، به ویژه در مناطق کشاورزی (منطقه خوان‌گیران در شمال شرقی، بخش‌هایی از ضلع جنوبی استان و جنوب دشت مشهد)، تأثیر قابل توجهی بر دماهای روزهنگام سطح زمین دارد، به طوری که افزایش مساحت این نوع از کاربری‌ها در طول دوره باعث کاهش محسوس دما در این مناطق شده است. همچنین پوشش گیاهی و کاربری کشاورزی تأثیر مستقیمی در کاهش دمای شب‌هنگام ندارد و به عبارتی پوشش گیاهی بیشتر از آنکه بر LST شب‌هنگام تأثیر داشته باشد، بر مقدار آن برای روز مؤثر است. در نهایت، بررسی و اجماع تمام نتایج نشان می‌دهد که اقلیم‌های محلی نمی‌تواند به عنوان عامل مؤثر و اصلی در توصیف دمای سطح زمین در روز و شب شناخته شود و لازم است تا در مطالعات بعدی نقش و تأثیر سایر عوامل از جمله انواع کاربری‌های زمین و تنوع پوشش گیاهی به طور جداگانه بررسی شود تا قبل از شروع عواقب جدی این تغییرات در متغیرهای اقلیمی با اجرای برنامه‌ها و استراتژی‌های مناسب توسط تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان از عواقب ناگوار آن جلوگیری کرد.

واژه‌نامه

دمای سطح زمین LST

مودیس (طیف رادیومتر تصویربرداری با وضوح متوسط)

MODIS (Moderate Resolution Imaging pectroradiometer)

شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

شاخص تفاوت نرمال شده آبی

NDWI (Normalized Difference Water Index)

سپاس‌گزاری

مایلم از استاد ارجمندم، دکتر حسین اعتماد فرد، همچنین از نشریه مهندسی عمران فردوسی و سردبیر محترم آن، دکتر محمدرضا اصفهانی، به دلیل کمک‌های صبورانه و سخاوتمندانه‌شان در انتشار این مقاله صمیمانه تشکر کنم و از خدا بخواهم که در ادامه کار نیز حامی من باشد.

مراجع

[1] N. Siabi, S. H. Sanaeinejad and B. Ghahraman, "Evaluation of the SPA Algorithm and the Feasibility of using MM5 Model Output to Estimate the Cloud Gaps in MODIS LST Images", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, vol. 8, no. 30, pp. 133-147, (2019). https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.65717

[2] H. Etemadfard, N. Aldirawi and H. Kharaghani, "Risk Assessment of the Shatt Al-Arab Overflow in Basra", *Journal of Civil Engineering Ferdowsi*, vol. 35, no. 2, pp. 49-61, (2022). (In Persian) https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.74235.1103

[3] A. Rezaee, A. Mosaedi, A. A. Beheshti and A. Zarin, "Analysis of the time trend and periodicity of precipitation, temperature and evaporation and transpiration variables in the range of several stations with different climates," presented at the The third international conference and the sixth national conference on protection of natural resources and environment, (2022). (In Persian).

[4] M. Shabani, S. Darvishan and K. Solaimani, "Investigating the Effects of Land Use Change on Spatiotemporal Patterns of Land Surface Temperature and Thermal Islands (Case Study: Saqqez County), *Geography and Environmental Planning*, vol. 30, no. 1, pp. 37-54, (2019). (In Persian) https://doi.org/10.22108/gep.2019.115781.1127

[5] B. Feizizadeh, K. Didehban and K. Gholamnia, "Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on landsat satellite images and split window algorithm Study area: Mahabad Catchment", *Journal of of Geographical Data (SEPEHR*), vol. 25, no. 98, pp. 171-181, (2016). (In Persian) https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.22145

[6] M. SalimiFard, H. S. Nejad, M. J. Noghabi and L. S. Dizavandi, "Detecting the effect of climate change on extreme temperature events in Khorasan Razavi province Case study: 1990-2015" , *Journal of Climate Research*, vol. 8, no. 29, pp. 111-124, (2017). (In Persian).

[7] B. S. Mousavi, A. A. Kakroodi and S. Arvandi, "The Effect of Climatic Conditions on Spatio-Temporal Changes and biophysical Characteristics of cities Using Satellite Images (Case study: Kashan, Shirgah, Bandar Anzali cities, Iran)", *Motaleate Shahri*, vol. 12, no. 48, pp. 99-112, (2023). (In Persian) https://doi.org/10.34785/J011.2022.023

[8] Y. G. Rahimi, "An Analysis of Super Heat wave Climatic Hazard Occurred in 2010 Summer in Khuzestan Province", *Journal of Geography and Planning*, vol. 19, no. 51, pp. 289-309, (2015). (In Persian).

[9] D. A. Mazidi and F. F. Zadeh, "Study the Process of Annual Soil Temperature in Yazd Station", *Geography and Development Iranian Journal*, vol. 9, no. 24, pp. 39-, (2011). (In Persian).

[10] A. R. Khojeen, M. M. K. Zarkesh, P. D. Arasteh, "Calculating and Calibrating Land Surface Temperature Using Landsat8 Thermal bands", *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, vol. 7, no. 3, pp. 49-64, (2015). (In Persian).

[11] A. Arvin, "An Investigation of the Relationship between Urban Heat Island and Air Pollution in the City of Isfahan", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, vol. 7, no. 25, pp. 115-129, (2018). (In Persian). https://doi.org/ 10.22067/geo.v7i1.64590

[12] Z. Faraji and A. Kaviani, "Spatial Downscaling of Land Surface Temperature (LST) of MODIS in Irrigated Areas by TOTRAM and OPTRAM Soil Moisture Estimation Models", *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, vol. 17, no. 3, pp. 585-596, (2023). (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1402.17.3.14.2

[13] M. Fakhar and A. Kaviani, "Evaluation and Monitoring of Drought in Qazvin Plain Using MODIS Based Indicators in Google Earth Engine", *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, vol. 17, no. 6, pp. 1089-1103, (2024). (In Persian).

[14] D. X. Tran, F. Pla, P. Latorre-Carmona, S. W. Myint, M. Caetano and H. V. Kieu, "Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 124, pp. 119-132, (2017). https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001

[15] Z.-L. Li, B. H. Tang, "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives", *Remote sensing of environment*, vol. 131, pp. 14-37, (2013). https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008

[16] A. Rajabi, "spatial -Temporal analysis of climate changes using tensors in the period from 2003 to 2022 (Study case: Gilan province)," Master Of Science Thesis, Remote Sensing, Ferdowsi, Mashhad, (2024).

[17] A. Tariq , I. Riaz and Z. Ahmad et al., "Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar

region using Landsat data", *Environmental Earth Sciences*, vol. 79, pp. 1-15, (2020). https://doi.org/10.1007/s12665-019-8766-2

[18] B. Abad, B. Salahi, K. Raispour and M. Moradi, "Combined Estimation of Nighttime Land Surface Temperature in Jazmourian Drainage Basin Using MODIS Sensor Data of Terra/Aqua Satellites", *Journal of the Earth and Space Physics*, vol. 48, no. 1, pp. 93-111, (2022). (In Persian).

[19] M. Moradi, B. Salahi, and S. A. Masoodian, "Analysis the slope of land surface temperature of Iran using MODIS data", Physical Geography Research Quarterly, vol. 48, no. 98, pp. 517-532, 2017. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60823

[20] M. Zolfaghari, B. Rayegani, B. N. Balouchi, H. Goshtasb and A. Jahani, "Analyzing the Trend of The Temperature Parameters Related to The Central Plateau of Iran Using a Time Series of Satellite Data", Desert Management, vol. 11, no. 27, pp. 17-36 (2023). (In Persian). https://doi.org/10.22034/jdmal.2023.2008659.1433

[21] M. Tahani Yazdali, S. M. Hosseini, F. Khormabadi and M. Mohtaram, " Investigation of monthly changes in urban heat islands of Isfahan County in the past two decades using MODIS multi-temporal data", *Environmental Sciences*, vol. 21, no. 4, pp. 41-66, (2023). https://doi.org/10.48308/envs.2023.1265

[22] H. Bondar, M. M. Baygi, and B. Ghahraman, "Evaluation and Separation between Urban Heat Island and Global Warming in Mashhad Region", *Journal of water and soil*, vol. 35, no. 1, pp. 137-151, (2021). (In Persian)

[23] W. EME El-Ashram, S. A Ibrahim and R. I Mostafa, "Statistical Measurement of the Impact of Climate and Environmental Variables on Egyptian Agricultural Output Indicators," *Alexandria Science Exchange Journal*, vol. 45, no. 3, pp. 749-768, (2024). https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2024.369777

[24] A. Ziyaee, A. Karimi, A. Lakzian, and H. Khademi, "Dust Deposition Rate and its Relationship to Some Climatic Parameters in Khorasan Razavi Province", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, vol. 7, no. 26, pp. 95-113, (2018). (In Persian) https://doi.org/10.22067/geo.v7i2.66306

[25] V. Salomonson, B. Guenther and E. Masuoka, "A summary of the status of the EOS Terra Mission Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and attendant data product development after one year of on-orbit performance", *IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 3: IEEE, pp. 1197-1199, (2001). https://doi.org/10.1109/IGARSS.2001.976790

[26] NASA. "MODIS Missions and Measurements." (2024.)

[27] G. E. Engine. "MODIS/061/MOD11A1- Terra Land Surface Temperature and Emissivity", (2024).

[28] S. Kamyabi, "Implementing climate classification system architectureIn Khorasan Razavi," (in Fa), Territory, vol. 13, no. 50, pp. 91-105, (2016). (In Persian)

[29] M. Ahmadi, Z. S. Mirzaei and A. Dadashiroudbari, "Investigation of seasonal distribution and abnormal trend of day and night surface temperature in Iran using MODIS sensor data", *Physical Geography Research Quarterly*, vol. 53, no. 117, pp. 351-364, 2021. (In Persian)

[30] M. Ahmadi and H. Ahmadi, "Monitoring of the Night Time land Surface Temperature in Iran Based on Output of the MODIS", *Geographical Research*, vol. 33, no. 1, pp. 174-190, (2018). (In Persian). https://doi.org/10.29252/geores.33.1.174

[31] J. Xie, X. Li, L. C. H. Chung and C. J. Webster, "Effects of land surface temperatures on vegetation phenology

along urban–rural local climate zone gradients", Landscape Ecology, vol. 39, no. 3, pp. 1-22,(2024). https://doi.org/10.1007/s10980-024-01856-6

[32] M. Mansourmoghaddam, N. Naghipur, I. Rousta, S. K. Alavipanah, H. Olafsson, and A. A. Ali, "Quantifying the effects of green-town development on land surface temperatures (LST)(A case study at Karizland (Karizboom), Yazd, Iran)", *Land*, vol. 12, no. 4, p. 885, (2023).https://doi.org/10.3390/land12040885

[33] K. Pantha, B. Aryal and A. Shrestha, "Urban Climate Change in Populated Kathmandu Valley, Nepal: A Case Study," Himalayan Review, pp. 88-113, (2024). https://doi.org/10.3126/hr.v45i1.68172

[34] Z. Zheng, Y. Zhang, J. Zhu, and N. Cong, "Daytime temperature contributes more than nighttime temperature to the weakened relationship between climate warming and vegetation growth in the extratropical Northern Hemisphere", *Ecological indicators*, vol. 131, p. 108203, (2021).https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108203

[35] Y. Mengjiao, Z. Wei, Z. Qiqi, X. M. Ya ZHANG, C. Junfei and Y. Yujia, "Quantitative study on driving factors of land surface temperature trends on the Qinghai-Tibet Plateau from 2003 to 2020 based on partial correlation analysis," Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, vol. 53, no. 5, p. 848, (2024). https://doi.org/10.11947/j.AGCS.2024.20230206